3 Kracht

3.0 Overzicht

3.1 Wat doet een kracht?
- Waaraan merk je dat er een kracht werkt?
- Wat is plastische vervorming en wat is elastische vervorming?
- Wat is het symbool voor kracht en wat is de eenheid van kracht?
- Welke drie eigenschappen heeft een kracht?
- Hoe kun je een kracht tekenen?
- Wat is een krachtschaal?
- Hoe gebruik je een verhoudingstabel?
- Hoe moet je krachten bij elkaar optellen?
- Wat is de resulterende kracht?

3.2 De zwaartekracht
- Hoe bereken je de zwaartekracht?
- Wat is het zwaartepunt en hoe bepaal je dit punt?
- Wanneer zijn krachten in evenwicht?
- Wat is de normaalkracht?
- Wat is het gewicht?
- Wanneer is een voorwerp in evenwicht?
- Wanneer is een evenwicht stabiel en wanneer labiel?

3.3 Kracht en vervorming
- Wat is het symbool voor vervorming en wat is de eenheid van vervorming?
- Wat is de relatie tussen de kracht en de vervorming voor een ideale veer?
- Wat is de veerconstante en hoe bereken je die?
- Wat is het symbool en wat is de eenheid van de veerconstante?
- Wat is druk en hoe bereken je de druk?
- Wat is het symbool en wat is de eenheid van de druk?

3.4 Kracht en versnelling
- Wat zijn de drie wetten van Newton?
- Hoe schrijf je de wetten van Newton op met formules?
- Waarom is "actiekracht = – reactiekracht" niet helemaal juist?
- Hoe bereken je de versnelling als je de resulterende kracht weet?

3.5 De momentenwet (hefboomwet)
- Wat is de arm van een kracht en hoe moet je de arm bepalen?
- Wat is de momentenwet?
- Wat is het moment van een kracht?
- Wanneer gebruik je de momentenwet?

3.1 Wat doet een kracht?

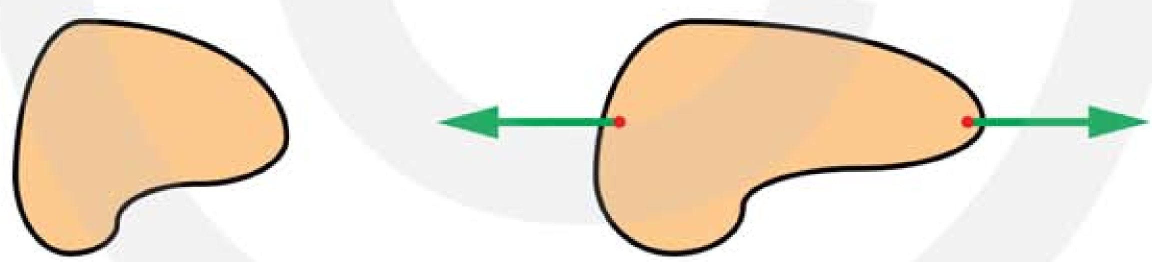
Wat een kracht **is** weet niemand. Wat een kracht **doet**, is wel bekend.

> **Een kracht zorgt ervoor dat een voorwerp gaat vervormen.**
>
> **Een kracht kan er voor zorgen dat een voorwerp gaat versnellen.**

Vaak komt het voor dat niet één, maar twee of meer krachten op een voorwerp werken. In dat geval zien we het gevolg van alle krachten samen. Werken de krachten elkaar precies tegen, dan gaat het voorwerp alleen vervormen. Anders gaat het voorwerp zowel vervormen als versnellen of vertragen.

Elastische en plastische vervorming

We gaan ons eerst richten op de situatie waarin twee krachten in tegenovergestelde richting worden uitgeoefend. Door deze krachten vervormt het voorwerp.



Figuur 1 Op een voorwerp worden twee krachten in tegenovergestelde richting uitgeoefend. Hierdoor vervormt het voorwerp.

De vervorming kan **elastisch** of **plastisch** zijn. Bij een elastische vervorming krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm terug als de krachten zijn verdwenen. Bij een plastische vervorming behoudt het voorwerp zijn vorm als de krachten zijn verdwenen.

> **Elastische vervorming:**
> Als de krachten verdwijnen krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm terug.
>
> **Plastische vervorming:**
> Als de krachten verdwijnen krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm NIET terug.

VOORBEELD elastische vervorming

pijl en boog

- je oefent kracht uit om een boog te spannen
- zodra je loslaat krijgt de boog zijn oude vorm terug

een spiraalveer indrukken

- je drukt een spiraalveer een eindje in
- zodra je loslaat krijgt de veer zijn oude vorm terug

VOORBEELD plastische vervorming

een deuk in de auto

- je vader rijdt met de auto tegen een paaltje
- als de auto wegrijdt blijft de deuk in de auto zitten

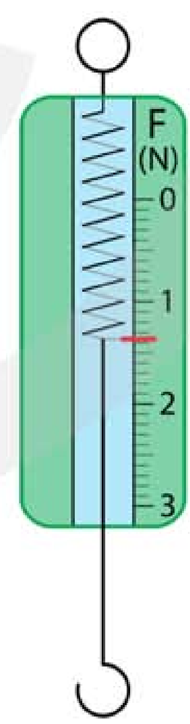
een blok klei vervormen

- je knijpt met je hand een kuil in een blok klei
- als je stopt met knijpen blijft de kuil in de klei zitten

De grootte van een kracht

De **grootte** van een kracht meet je met een **krachtmeter** (bijvoorbeeld een veerunster).

Een krachtmeter geeft aan hoeveel kracht er wordt uitgeoefend.



Figuur 2
Met een krachtmeter (veerunster) meet je de grootte van een kracht.
Lees af: de kracht is 1,38 N.

De grootheid kracht heeft als symbool de hoofdletter F (van "force").

De eenheid van kracht is de newton (N).

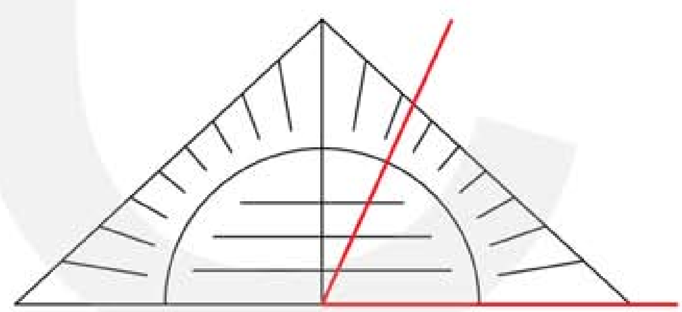
Kracht heeft een richting

Weet je de grootte van de kracht dan weet je nog niet alles. Kracht heeft namelijk ook een **richting**. Als je opschrijft dat er een kracht werkt van bijvoorbeeld 10 newton dan is het nog steeds niet duidelijk in welke richting deze kracht werkt. Het kan naar rechts zijn maar ook naar boven. Grootheden waarbij behalve de hoeveelheid ook de richting er toe doet zijn **vectorgrootheden**. Je zegt dan dat kracht een **vector** is.

Kracht heeft een grootte en een richting → kracht is een vector.

De **richting** van een kracht meet je met een **gradenboog** of geodriehoek. Hiermee kun je de hoek meten waarmee twee lijnen elkaar snijden.

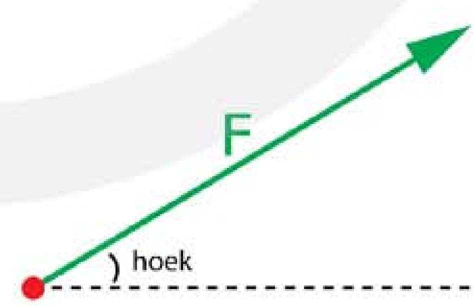
Om een hoek af te lezen ga je als volgt te werk:
- leg één zijde van je geodriehoek langs een lijn, je mag zelf weten welke
- verschuif je geodriehoek zodat de nul op het snijpunt van de lijnen ligt
- kijk door welk streepje op de schaalverdeling de andere lijn gaat
- lees af welke hoek bij dit streepje hoort
- gaat de lijn tussen twee streepjes door dan schat je hoeveel het ongeveer is



Figuur 3
Met een geodriehoek meet je de richting van een kracht. Lees af: de hoek tussen de rode lijnen is 68 graden.

Kracht weergeven door een pijl

Omdat kracht een vector is wordt het in een figuur weergegeven door een pijl.



Figuur 4
Kracht is een vector en wordt door een pijl weergegeven. De pijl heeft een lengte, een richting en een aangrijpingspunt (rode stip).

De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.

De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan.

Het aangrijpingspunt is de plaats waar de kracht wordt uitgeoefend.

Verhouding tussen de grootte van de kracht en de lengte van de getekende krachtpijl

Uit de lengte van de getekende krachtpijl kun je de grootte van de kracht berekenen. Je moet dan eerst weten hoeveel newton er hoort bij één centimeter van de getekende pijl. Dit noemen we de **krachtschaal**.

De krachtschaal is de grootte van de kracht gedeeld door de lengte van de getekende krachtpijl.

$$\text{krachtschaal} = \frac{\text{hoeveelheid newton}}{\text{lengte van de pijl}}$$

VOORBEELD krachtschaal

Een kracht van 20 newton is getekend als een pijl met een lengte van 4 cm.

Bereken de krachtschaal.

- $F = 20\ \text{N}$; lengte pijl $= 4$ cm
- $\text{krachtschaal} = \frac{\text{hoeveelheid newton}}{\text{lengte van de pijl}}$
- $\text{krachtschaal} = \frac{20}{4} = 5$ newton per centimeter

De krachtschaal is gekozen door de tekenaar en zegt niets over de kracht zelf. De tekenaar kan ervoor kiezen om bijvoorbeeld alles twee keer zo groot te tekenen, maar daarmee verandert de hoeveelheid kracht die hij uitbeeldt niet.

Een verhoudingstabel

Stel je geeft een kracht van 20 newton aan met een 4 centimeter lange pijl. Wil je daarna een kracht van 50 newton aangeven dan moet je een pijl tekenen met een lengte van 10 cm. Dit kun je uitrekenen door een verhoudingstabel te maken.

newton	20	50
centimeter	4	x

Het ontbrekende getal x bereken je met de verhouding:

– de kracht is 50 / 20 = 2,5 keer zo groot
– het aantal centimeter moet ook 2,5 keer zo groot
– $4 \cdot 2{,}5 = 10$ cm

Je kunt het onbekende getal x ook bereken door **kruislings** te **vermenigvuldigen**:
$4 \cdot 50 = 20 \cdot x \quad \rightarrow$

$x = \frac{4 \cdot 50}{20} \quad \rightarrow \quad x = \frac{200}{20} = 10 \text{ cm}$

VOORBEELD verhoudingstabel: bereken de kracht

Een krachtpijl is 4 cm lang. De krachtschaal is $30 \text{ N} \leftrightarrow 5 \text{ cm}$.

Bereken de grootte van de kracht.

- verhoudingstabel:

newton	30	x
centimeter	5	4

- kruislings vermenigvuldigen: $30 \cdot 4 = 5 \cdot x$
- $x = \frac{30 \cdot 4}{5} \quad \rightarrow \quad x = \frac{120}{5} = 24$
- F = 24 N

VOORBEELD verhoudingstabel: bereken de lengte van de krachtpijl

De krachtschaal is $30 \text{ N} \leftrightarrow 5 \text{ cm}$.

Teken een krachtpijl van 54 N.

- verhoudingstabel:

newton	30	54
centimeter	5	x

- kruislings vermenigvuldigen: $5 \cdot 54 = 30 \cdot x$
- $x = \frac{5 \cdot 54}{30} \quad \rightarrow \quad x = \frac{270}{30} = 9$
- de krachtpijl moet 9 cm lang zijn

Krachten optellen

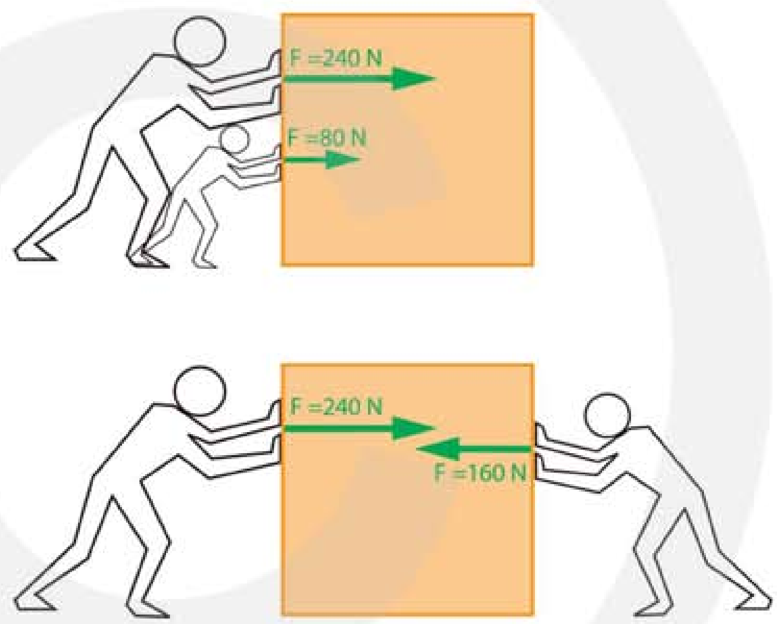
Vaak komt het voor dat er twee of meer krachten op een voorwerp worden uitgeoefend. In dat geval moet je de krachten bij elkaar **optellen**. Daarbij moet je rekening houden met de richting van de krachten. Staan twee krachten in dezelfde richting, dan geeft de optelling een ander resultaat dan als de krachten in tegenovergestelde richting staan.

Tel je alle krachten die op een voorwerp worden uitgeoefend bij elkaar op dan noem je dit de **resulterende kracht**. De resulterende kracht is het **resultaat** van alle krachten samen. Het bij elkaar optellen van alle krachten geef je aan met het somteken: Σ (Griekse letter sigma)

De resulterende kracht is de som van alle krachten.

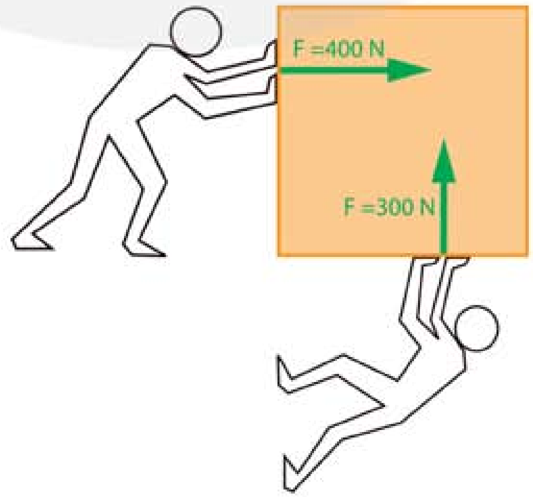
De resulterende kracht geef je aan met ΣF.

In figuur 5 wordt op een kist twee krachten uitgeoefend. Bij het bovenste plaatje staan de twee krachten in dezelfde richting, de totale kracht is 240 + 80 = 320 N. Bij het onderste plaatje staan de twee krachten in tegenovergestelde richting, de totale kracht is 240 – 160 = 80 N.



Figuur 5
Boven: twee krachten staan in dezelfde richting.
Onder: twee krachten staan in tegenovergestelde richting.

Het is ook mogelijk dat de twee krachten een hoek met elkaar maken. Dat zie je in figuur 6, waarbij twee krachten loodrecht op elkaar staan.



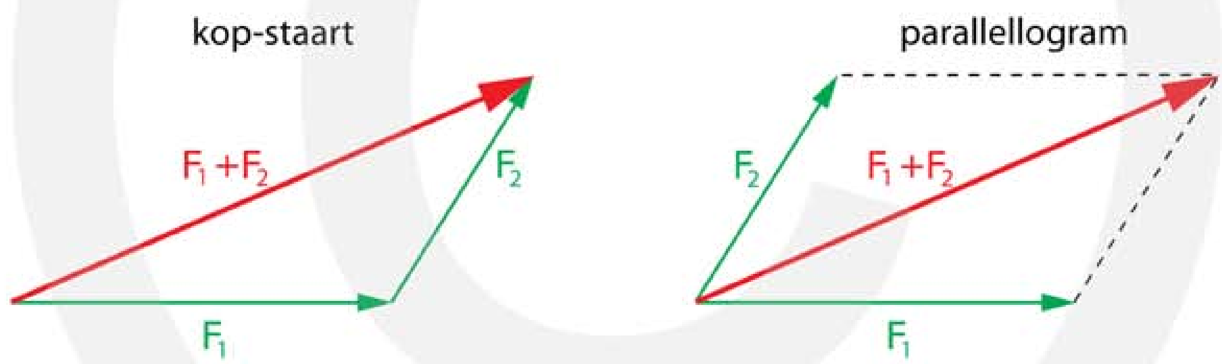
Figuur 6
Twee krachten staan loodrecht op elkaar.

Omdat de krachten bij figuur 6 niet in dezelfde richting staan mag je niet zeggen dat de totale kracht 300 + 400 = 700 N is. De krachten staan ook niet in tegengestelde richting, dus de totale kracht is ook niet 400 – 300 = 100 N.

Om de totale kracht te bepalen moet je een tekening maken. Zo'n tekening van krachten heet een **constructie**. Stel er zijn twee kracht F_1 en F_2 en je wilt de totale kracht weten, dan moet je de krachtpijlen F_1 en F_2 tekenen en daarna een constructie maken. Er zijn twee methoden waaruit je kunt kiezen.

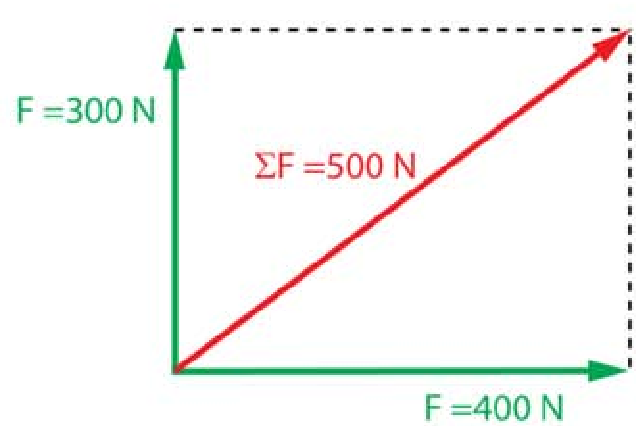
– De kop-staartmethode –
- begin met F_1
- F_2 begint waar F_1 ophoudt; de krachten worden kop-staart getekend
- $F_1 + F_2$ is de pijl die begint bij het begin van F_1 en eindigt bij het einde van F_2

– De parallellogrammethode –
- construeer een parallellogram met F_1 en F_2 als schuine zijden
- $F_1 + F_2$ is de pijl die begint bij het begin en eindigt in de hoek schuin er tegenover



Figuur 7 Krachten kunnen bij elkaar worden opgeteld door ze kop-staart te tekenen (links) of door een parallellogram te tekenen (rechts).

Passen we de kop-staartmethode of de parallellogrammethode toe voor de situatie in figuur 6 dan krijgen we de constructie van figuur 8. Door de lengte van de kracht-pijlen te meten en de verhouding te gebruiken vind je een resulterende kracht van 500 N.

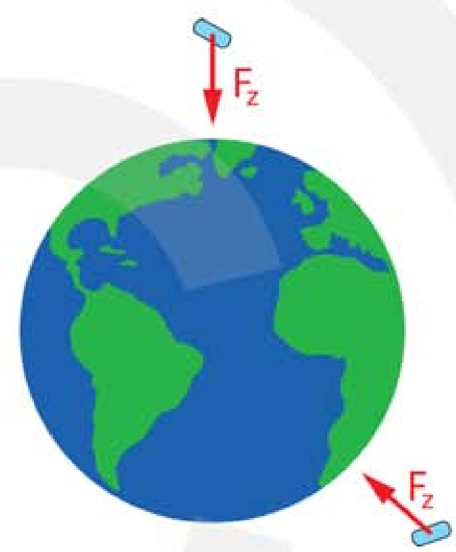


Figuur 8
Constructie van de twee krachten in figuur 6. De resulterende kracht is 500 N.

3.2 De zwaartekracht

De zwaartekracht: F_Z

Een kracht waar we op aarde veel mee te maken hebben is de zwaartekracht, F_Z. Dit is de kracht waarmee de aarde aan ieder voorwerp trekt. De zwaartekracht is altijd verticaal naar beneden gericht, naar het middelpunt van de aarde. Aan voorwerpen met veel massa trekt de aarde harder dan aan voorwerpen met weinig massa.



Figuur 9
Op iedere voorwerp oefent de aarde een zwaartekracht F_Z uit. De zwaartekracht is gericht naar het middelpunt van de aarde.

Om de grootte van de zwaartekracht op aarde te berekenen moet je de massa in kilogram vermenigvuldigen met het getal 9,81. Het getal 9,81 is de versnelling die iedere voorwerp krijgt als het naar de aarde valt en wordt daarom de **valversnelling** genoemd met het symbool g.

$$F_Z = m \cdot g$$

– F_Z is de zwaartekracht in newton (N)
– m is de massa van het vallende voorwerp in kilogram (kg)
– g is de valversnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2)

VOORBEELD zwaartekracht

Een appel weegt 178 gram.

Bereken de zwaartekracht op de appel.

- $m = 0{,}178$ kg
- $F_Z = 0{,}178 \cdot 9{,}81 = 1{,}75$ N

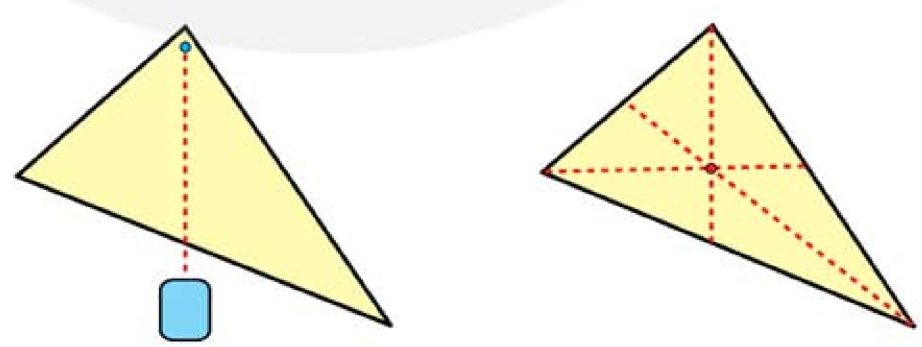
De grootte van de valversnelling wordt bepaald door de grootte en de massa van de aarde. Iedere ster, planeet of maan heeft daarom een andere waarde van g.

Het is nog niet zo goed bekend waarom er zwaartekracht is. Twee brokken materie trekken elkaar altijd aan. De zwaartekracht is groot als:
– de massa's van de twee voorwerpen groot zijn
– de voorwerpen dicht bij elkaar zijn

hemellichaam	**valversnelling (m/s^2)**
Zon	273,6
Mercurius	3,7
Venus	8,87
Aarde / Maan	9,81 / 1,62
Mars	3,7
Jupiter	24,9
Saturnus	10,4
Uranus	8,9
Neptunus	11,2

Het zwaartepunt

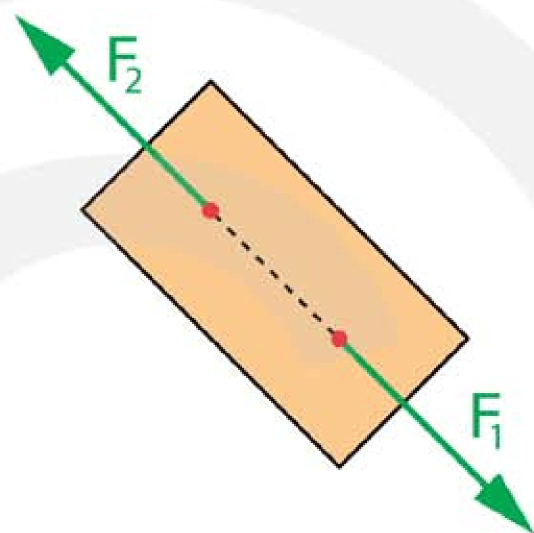
Ieder voorwerp heeft een punt waar de zwaartekracht aangrijpt. Dit is het punt waar de materie zich gemiddeld bevindt. Het zwaartepunt vind je door het volgende te doen, zie figuur 10.
– hang het voorwerp draaibaar op aan een spijker
– teken een lijn uit het ophangpunt loodrecht naar beneden
– hang het voorwerp nu op aan een ander ophangpunt
– teken opnieuw een lijn loodrecht naar beneden
– het snijpunt van de twee lijnen is het zwaartepunt



Figuur 10
Methode om het zwaartepunt van een voorwerp te bepalen.

Krachten in evenwicht
Als de som van de krachten op een voorwerp nul is zeggen we dat de krachten met elkaar in **evenwicht** zijn.

Evenwicht → $\Sigma F = 0$



Figuur 11
Op een voorwerp in rust werken twee krachten F_1 en F_2. De twee krachten heffen elkaar op: $\Sigma F = 0$

De normaalkracht: F_N
Er is evenwicht als $\Sigma F = 0$. Dit is het geval als een voorwerp op de vloer staat. De aarde trekt het voorwerp tegen de vloer aan en de vloer duwt met dezelfde kracht terug. Op het voorwerp werken dus twee krachten: de zwaartekracht en de kracht waarmee de vloer terugduwt. De kracht waarmee de vloer terugduwt noem je de **normaalkracht: F_N**. F_Z en F_N zijn even groot en hebben en tegengestelde richting. Ze heffen elkaar op, zodat $\Sigma F = 0$.

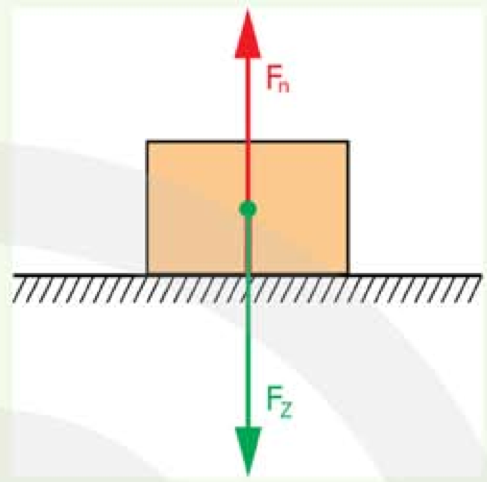
Het gewicht
De kracht die het voorwerp op de vloer uitoefent noem je het **gewicht**. Meestal zijn de zwaartekracht, het gewicht en de normaalkracht precies even groot.

Zwaartekracht:	F_Z	**is de kracht die de aarde uitoefent.**
Gewicht:	$F_{gewicht}$	**is de kracht die op de vloer wordt uitgeoefend.**
Normaalkracht:	F_N	**is de kracht waarmee de vloer terugduwt.**

VOORBEELD doos op de vloer

In figuur 12 staat een doos op de vloer. Op de doos werken twee krachten F_Z en F_N.

- F_Z grijpt aan in het zwaartepunt van de doos.
- F_N grijpt aan op de doos in het midden van het steunvlak.



Figuur 12

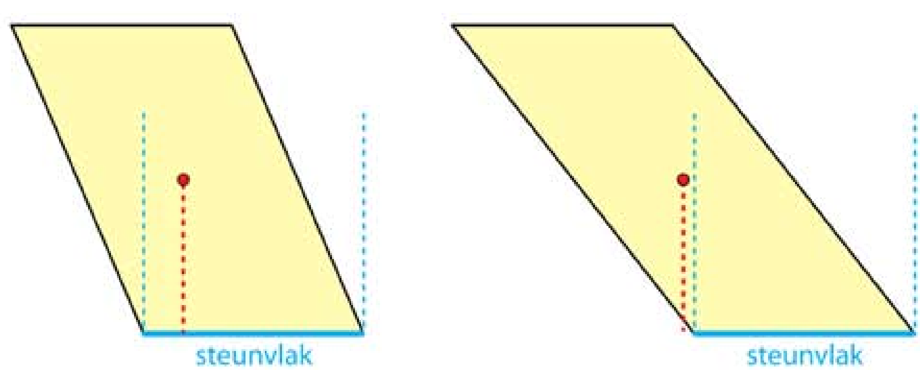
Evenwicht: $F_Z + F_N = 0$

Een voorwerp is in evenwicht als het niet spontaan omvalt. Om in evenwicht te zijn, moet het zwaartepunt zich boven het **steunvlak** bevinden. Het steunvlak is de oppervlakte tussen de buitenste steunpunten.

Evenwicht → zwaartepunt ligt boven het steunvlak.

In figuur 13 zie je twee situaties. Links bevindt het zwaartepunt zich boven het steunvlak. Het voorwerp is daarom in evenwicht en valt niet om. Rechts bevindt het zwaartepunt zich naast het steunvlak. Dit voorwerp is niet in evenwicht maar valt om.

Figuur 13
Links ligt het zwaartepunt boven het steunvlak en is het blok in evenwicht. Rechts ligt het zwaartepunt niet boven het steunvlak en valt het blok om.



VOORBEELD steunvlak

In figuur 14 zie je een kraanwagen. Het steunvlak van de kraanwagen bevindt zich tussen de banden.

Als het zwaartepunt boven het steunvlak ligt is de kraanwagen in evenwicht en valt hij niet om.

Om het steunvlak te vergroten kunnen er aan de zijkanten extra steunpunten worden aangebracht.

Figuur 14 Kraanwagen.

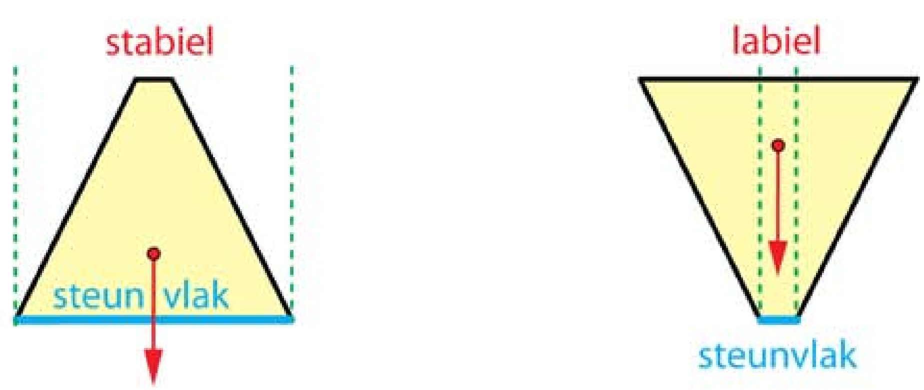
Stabiel en labiel evenwicht

Het evenwicht kan **stabiel** of **labiel** zijn. Bij een stabiel evenwicht kun je flinke duw geven zonder dat het voorwerp omvalt. Bij een labiel evenwicht is een klein duwtje al genoeg om het voorwerp om te laten vallen.

Een **stabiel evenwicht** krijg je als het steunvlak groot is en het zwaartepunt dichtbij het steunvlak ligt.

Een **labiel evenwicht** krijg je als het steunvlak klein is en het zwaartepunt ver boven het steunvlak ligt.

Stabiel evenwicht → groot steunvlak + zwaartepunt ligt laag.
Labiel evenwicht → klein steunvlak + zwaartepunt ligt hoog.

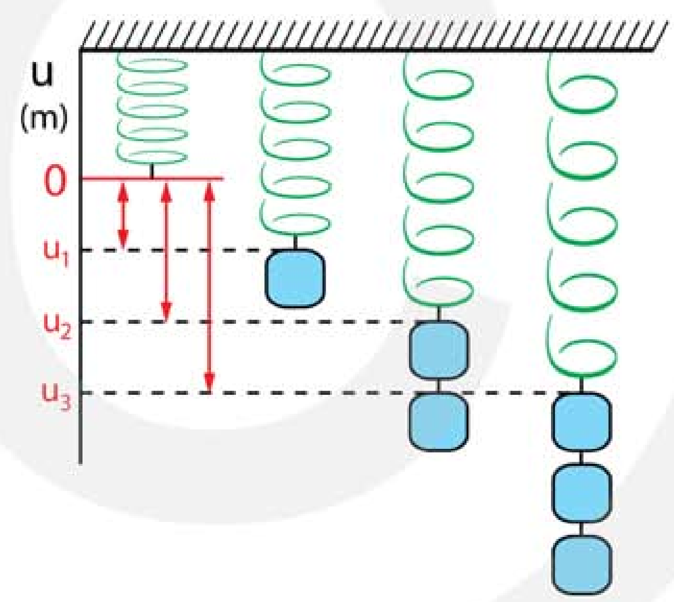


Figuur 15
Stabiel en labiel evenwicht.

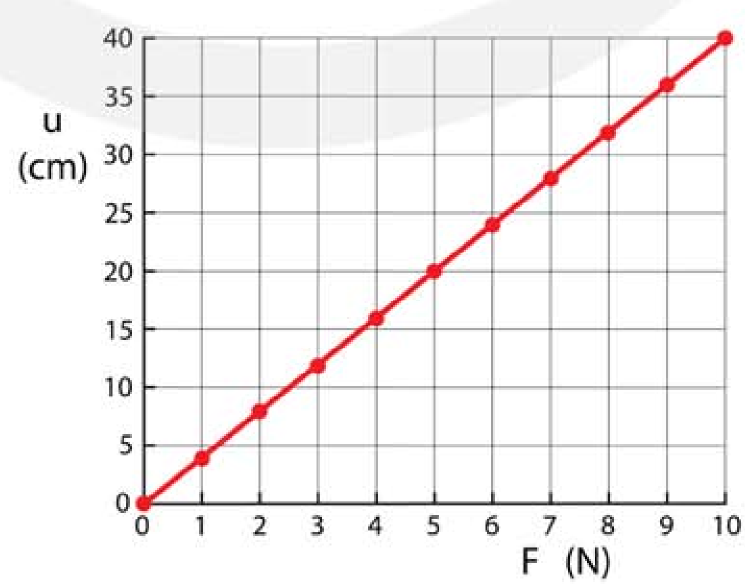
3.3 Kracht en vervorming

Een voorwerp waarop een kracht werkt vervormt. Bij stugge voorwerpen is deze vervorming niet te zien, maar bij flexibele voorwerpen wel. We kunnen de relatie tussen de vervorming en de kracht onderzoeken door gewichtjes aan een veer te hangen, zie figuur 16. De vervorming u_2 bij twee gewichtjes is twee keer zo groot als de vervorming u_1 bij één gewichtje. Bij drie gewichtjes wordt de vervorming drie keer zo groot.

Het symbool voor vervorming is u.
De eenheid van vervorming is meter (m).



Figuur 16
Vervorming van een veer.
u_2 is twee keer zo groot als u_1,
u_3 is drie keer zo groot als u_1.



Figuur 17
(u, F)-diagram
van een veer.

In het ideale geval is de vervorming **recht evenredig** met de kracht. Maak je de kracht bijvoorbeeld 3,5 keer zo groot, dan wordt de vervorming ook 3,5 keer zo groot. In een (u, F)- diagram staat de kracht op de horizontale as en de vervorming op de verticale as. De grafiek is een **rechte lijn door het nulpunt**. De lijn gaat door het nulpunt, want als je geen kracht uitoefent is de vervorming nul. In figuur 17 zie je een voorbeeld van een (u, F)-diagram.

We trekken met kracht F aan een veer die daardoor vervormt (uitrekt). Voor de kracht en de vervorming geldt de volgende formule:

$$F = C \cdot u$$

- F is de kracht in newton (N)
- C is de veerconstante in newton per meter (N/m)
- u is de vervorming in meter (m)

Veerconstante: C

De veerconstante C is het aantal newton dat nodig is om een veer één meter uit te rekken of één meter in te drukken. Is C groot dan kost het veel kracht om de veer te vervormen.

$$\text{veerconstante} = \frac{\text{kracht}}{\text{vervorming}} \quad \rightarrow \quad C = \frac{F}{u}$$

Uit de grafiek in figuur 17 kun je de veerconstante bepalen. Omdat de lijn recht is en door het nulpunt gaat kun je een willekeurig punt op de lijn kiezen.

- kies F = 10 N: $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{10}{0,40} = 25\,\text{N/m}$
- kies F = 6 N: $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{6}{0,24} = 25\,\text{N/m}$

Vervorming en lengte

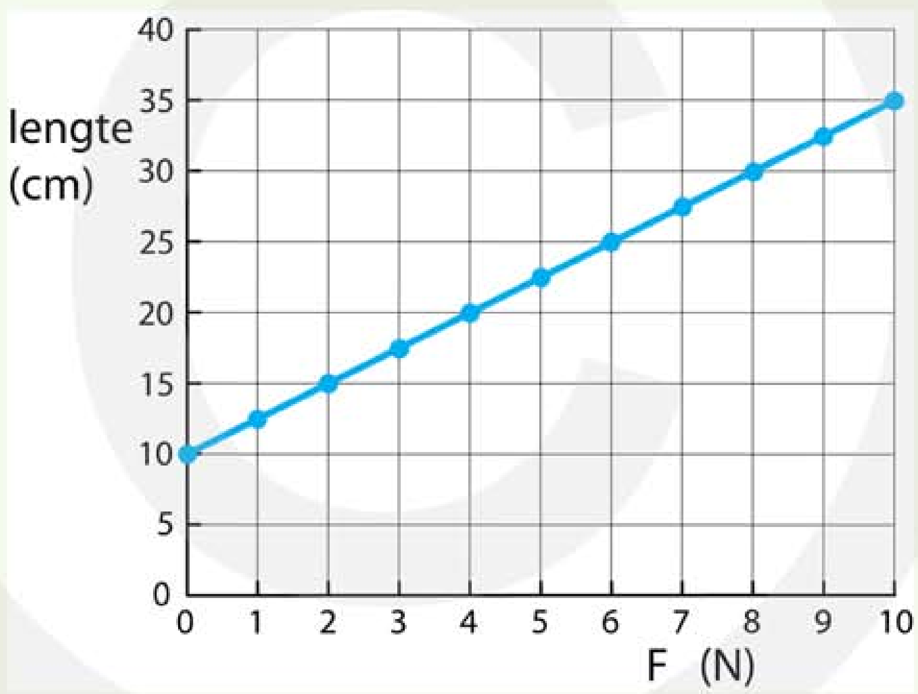
Het is belangrijk om te onthouden dat de vervorming niet hetzelfde is als de lengte van de veer. Stel je hebt een veer van 10 cm lang. Als je er een gewichtje aan hang wordt de veer 14 cm lang. De vervorming is in dat geval 14 – 10 = 4 cm. We gebruiken ℓ voor de lengte van een veer en u voor de vervorming die door een kracht wordt veroorzaakt.

Vervorming is de lengte met kracht min de lengte zonder kracht.

$$u = \ell_{\text{met kracht}} - \ell_{\text{zonder kracht}}$$

VOORBEELD veerconstante bepalen

In figuur 18 zie je een diagram waarin de lengte van een veer is uitgezet tegen de kracht.



Figuur 18

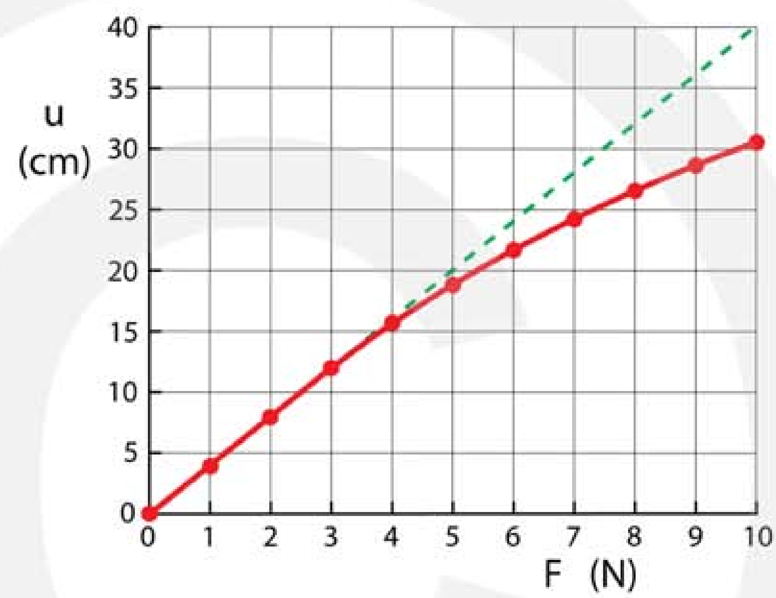
Bepaal de veerconstante.

- aflezen: 0 N → ℓ = 10 cm
- aflezen: 10 N → ℓ = 35 cm
- $u = \ell_{\text{met kracht}} - \ell_{\text{zonder kracht}}$
- u = 35 – 10 = 25 cm = 0,25 m
- $C = \frac{F}{u}$
- $C = \frac{10}{0,25} = 40\ \text{N/m}$

Vervorming waarbij F = C · u niet geldt

Bij een ideale veer is de vervorming recht evenredig met de kracht, maar dat is niet altijd het geval. Vaak is het zo dat bij een kleine kracht de vervorming recht evenredig is, maar dat bij een grote kracht de formule $F = C \cdot u$ niet helemaal meer klopt.

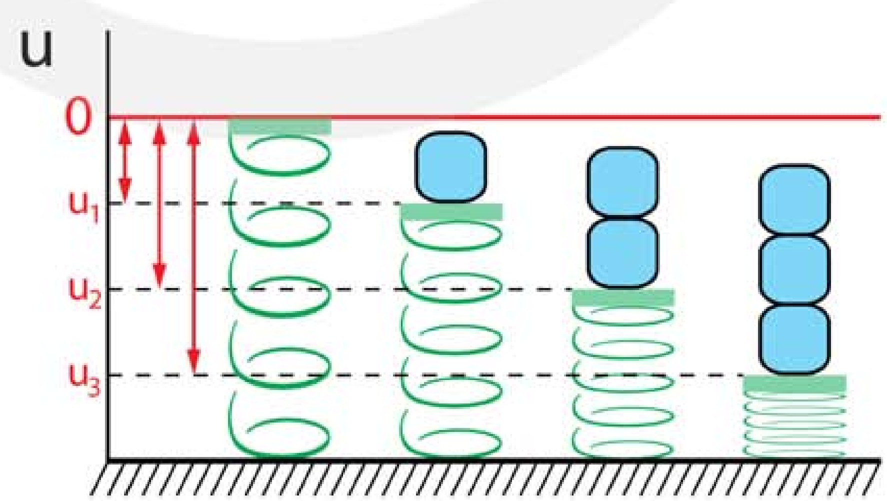
In figuur 19 zie je een situatie waarbij $F = C \cdot u$ alleen geldt voor een kracht kleiner dan 3 N. Bij een grote kracht wordt de veer stugger, waardoor C niet meer constant is maar steeds groter wordt. De grafiek is nu geen rechte lijn maar buigt af.



Figuur 19
(u, F)-diagram van een veer. Bij het uitrekken wordt de veer steeds stugger, waardoor de veerconstante toeneemt.

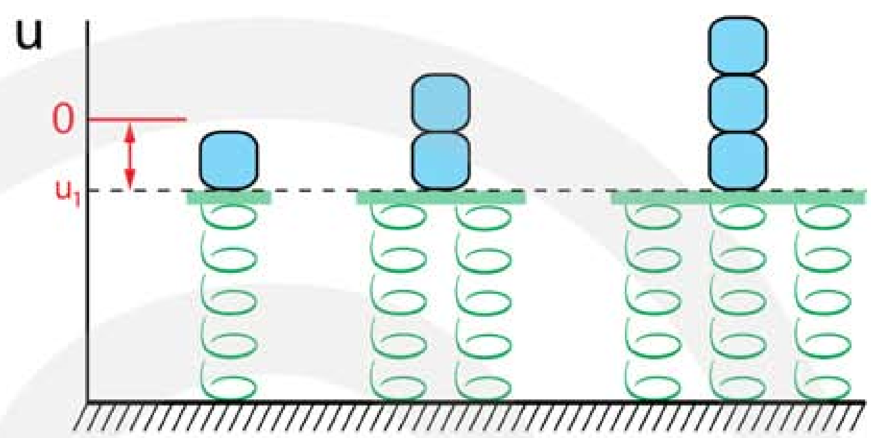
Druk

In figuur 20 zie je wat er gebeurt als je een ideale veer indrukt. Zet je één gewichtje op de veer dan is de vervorming u_1. Bij twee gewichtjes is de vervorming twee keer zo groot. Bij drie gewichtjes is de vervorming drie keer zo groot.



Figuur 20
Een veer wordt ingedrukt. De vervorming neemt toe als de kracht groter wordt.

De situatie verandert als niet alleen het aantal gewichtjes groter wordt maar ook het aantal veren. In figuur 21 zie je dat de vervorming niet verandert als de kracht zich verdeelt over de veren. Dit komt omdat het aantal veren evenveel toeneemt als de kracht. Per veer blijft de kracht hierdoor hetzelfde.



Figuur 21
Een veer wordt ingedrukt. Omdat de kracht zich verdeelt blijft de vervorming hetzelfde.

Om dit te begrijpen gebruiken we het begrip **druk**.

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}$$

Het symbool voor druk is p, afkomstig van "pressure" (Engels).
Het symbool voor oppervlakte is A, afkomstig van "area" (Engels).

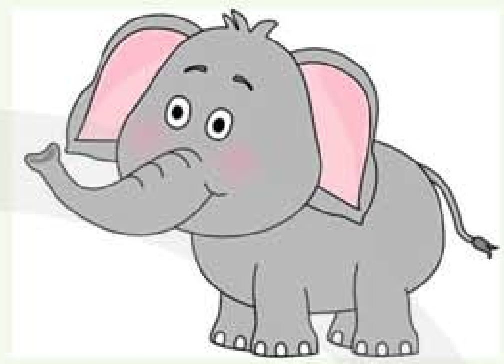
$$p = \frac{F}{A}$$

- p is de druk in newton per vierkante meter (N/m^2)
- F is de kracht in newton (N)
- A is de oppervlakte in vierkante meter (m^2)

Hoeveel een voorwerp wordt vervormd hangt niet alleen af van de kracht die erop wordt uitgeoefend, maar ook van de oppervlakte waarover deze kracht wordt verdeeld.

VOORBEELD olifant

Een olifant heeft een massa van 6000 kg. Zijn voeten zijn 50 cm lang en 40 cm breed.



Bereken de druk die een voet van een olifant op de grond uitoefent.

- $F_z = m \cdot g$
- $F_z = 6000 \cdot 9{,}81 = 5{,}886 \cdot 10^4$ N
- kracht per poot: $\frac{5{,}886 \cdot 10^4}{4} = 1{,}4715 \cdot 10^4$ N
- oppervlakte van een voet: $0{,}5 \cdot 0{,}4 = 0{,}20\,m^2$
- $p = \frac{F}{A}$
- $p = \frac{1{,}4715 \cdot 10^4}{0{,}2} = 7{,}3575 \cdot 10^4 = 7{,}36 \cdot 10^4\ N/m^2$

VOORBEELD dame op naaldhakken

Een dame op naaldhakken heeft een massa van 50 kg. Een naaldhak heeft een oppervlakte van 1,0 cm^2.
Op hakken rust de helft van de massa.

Bereken de druk die een naaldhak op de grond uitoefent.

- $F_z = m \cdot g$
- $F_z = 50 \cdot 9{,}81 = 490{,}5\,N$
- kracht per voet: $\frac{490{,}5}{2} = 245{,}25\,N$
- kracht per naaldhak: $\frac{245{,}25}{2} = 122{,}625\,N$
- oppervlakte van een naaldhak: $1{,}0\,cm^2 = 1{,}0 \cdot 10^{-4}\,m^2$
- $p = \frac{F}{A}$
- $p = \frac{122{,}625}{1{,}0 \cdot 10^{-4}} = 1{,}22625 \cdot 10^6 = 1{,}23 \cdot 10^6\ N/m^2$

MERK OP
De naaldhak oefent 16 keer meer druk uit dan de voet van een olifant.

3.4 Kracht en versnelling

Een voorwerp waarop een resulterende kracht wordt uitgeoefend **versnelt**. De grootte en/of de richting van de snelheid verandert. Isaac Newton schreef in 1687 het boek "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" waarin hij precies uitlegt hoe dat zit. Hij heeft zijn conclusies vastgelegd in drie wetten. Zijn beroemde wetten in woorden én op een wiskundige manier opgeschreven vind je hieronder.

Wet 1
Een voorwerp waarop geen resulterende kracht werkt is in rust of heeft een eenparig rechtlijnige beweging.

$$\Sigma F = 0 \quad \Leftrightarrow \quad a = 0$$

Wet 2
Werkt er een resulterende kracht, dan krijgt het voorwerp een versnelling. Om een grote massa te versnellen is meer kracht nodig.

De richting van de versnelling is gelijk aan de richting van de resulterende kracht.

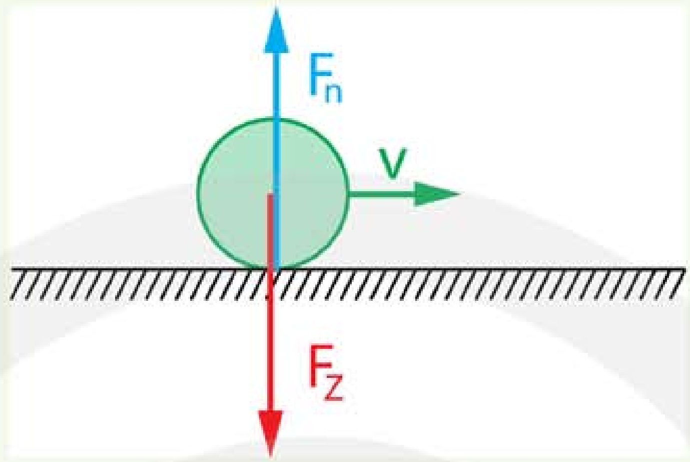
$$\Sigma F = m \cdot a$$

Wet 3
Als voorwerp A een kracht uitoefent op voorwerp B, dan oefent B een even grote maar tegengesteld gerichte kracht uit op A.

$$F_{A \to B} = -F_{B \to A}$$

VOORBEELD Wet 1: bowlingbal

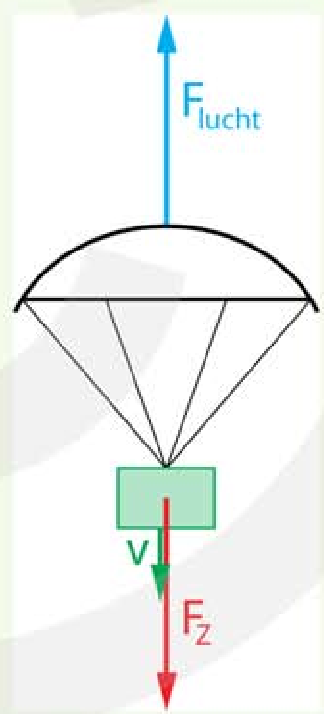
Een bowlingbal rolt vrijwel zonder weerstand. Er werken twee krachten op de bowlingbal F_Z en F_n. Deze krachten zijn even groot en tegengesteld gericht. ΣF is dus nul. Volgens de eerste wet van Newton is de versnelling dan ook nul. De snelheid van de bowlingbal verandert niet. De bowlingbal beweegt met een constante snelheid over de baan.



Figuur 22

VOORBEELD Wet 1: parachute

Een voedselpakket wordt aan een parachute uit een vliegtuig gegooid. Op het pakket en de parachute werken twee krachten F_Z en F_{lucht}. Deze krachten zijn even groot en tegengesteld gericht. ΣF is dus nul. Volgens de eerste wet van Newton is de versnelling dan ook nul. De snelheid van de parachute met pakket verandert niet. De parachute beweegt met een constante snelheid omlaag.



Figuur 23

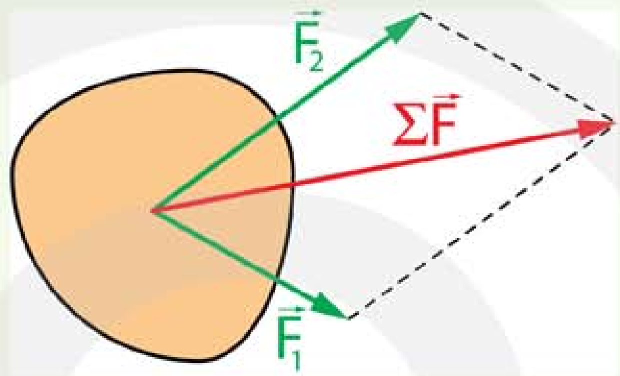
VOORBEELD Wet 2

- Om de snelheid van een bowlingbal te veranderen is veel meer kracht nodig dan om de snelheid van een pingpongbal te veranderen.
- Om een auto in 5 seconden van 0 naar 100 km/h te brengen is meer kracht nodig dan om deze auto in 20 seconden van 0 naar 100 km/h te brengen.

VOORBEELD   Wet 2

Op een voorwerp met massa m werken twee krachten. De resulterende kracht is $\Sigma F = F_1 + F_2$. Omdat ΣF niet nul is gaat het voorwerp versnellen.

Deze versnelling is: $a = \frac{\Sigma F}{m}$



Figuur 24

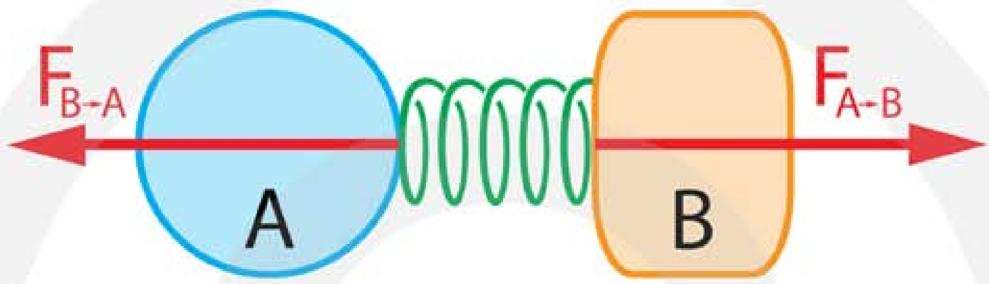
VOORBEELD   Wet 3

- Een boek dat op een tafel ligt oefent een kracht uit op de tafel. De tafel oefent een even grote tegengestelde kracht uit op het boek.
- Als je een veer indrukt oefent je hand een kracht uit op de veer. Door de veer wordt een even grote tegengestelde kracht uitgeoefend op je hand.
- Als een auto optrekt oefenen de autobanden een kracht uit op het wegdek. Het wegdek oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de auto.
- Als een ballon leegloopt oefent de ballon een kracht uit op de uitstromende lucht. De uitstromende lucht oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de ballon.
- Een appel valt uit een boom. De aarde oefent een kracht uit op de appel. De appel oefent een even grote tegengestelde kracht uit op de aarde. Maar omdat de aarde een veel grotere massa heeft dan de appel merk je niet dat ook de aarde versnelt.

Actie = – reactie

De derde wet van newton $F_{A\rightarrow B} = -F_{B\rightarrow A}$ wordt soms geformuleerd als "actiekracht = – reactiekracht" of "actie = – reactie". Deze formulering suggereert dat er eerst een actiekracht is en pas daarna een reactiekracht, maar dat is niet het geval. Beide krachten zijn altijd tegelijkertijd aanwezig. De "actiekracht" en "reactiekracht" zijn samen het gevolg van een **interactie** van twee voorwerpen. A en B oefenen krachten uit **op elkaar**.

Een bekende denkfout is dat de actiekracht en de reactiekracht elkaar opheffen omdat ze altijd even groot en tegengesteld gericht zijn. Volgens deze redenering is de resulterende kracht dan altijd nul. Maar dat is niet zo, want de actiekracht en de reactiekracht werken op verschillende voorwerpen. $F_{A \to B}$ is de kracht die A op B uitoefent en $F_{B \to A}$ is de kracht die B op A uitoefent. Op A werkt dus alleen $F_{B \to A}$ en op B werkt alleen $F_{A \to B}$. Als er geen andere krachten zijn zullen beide voorwerpen in tegengestelde richting versnellen. Het voorwerp met de kleinste massa versnelt het meest.



Figuur 25 Twee voorwerpen oefenen krachten op elkaar uit. Ze hebben interactie met elkaar.

$\Sigma F = m \cdot a$

Met de tweede wet van Newton kun je uitrekenen hoe groot de versnelling is als je een kracht op een voorwerp uitoefent. Je gaat hierbij als volgt te werk:

- **Tel alle krachten als vectoren bij elkaar op en bepaal ΣF.**
- **Bepaal de massa die gaat versnellen.**
- **Gebruik $\Sigma F = m \cdot a$**

VOORBEELD auto met caravan

Een auto met caravan trekt op als het stoplicht op groen springt. De motor van de auto oefent een kracht van 3000 N uit. De auto heeft een massa van 1200 kg en de caravan heeft een massa van 800 kg. Wrijvingskrachten worden verwaarloosd.

Bereken de versnelling.

- de resulterende kracht is de motorkracht
- $\Sigma F = 3000\ \text{N}$
- $m = 1200 + 800 = 2000\ \text{kg}$
- $a = \dfrac{\Sigma F}{m} \quad \to \quad a = \dfrac{3000}{2000} = 1{,}5\ \text{m/s}^2$

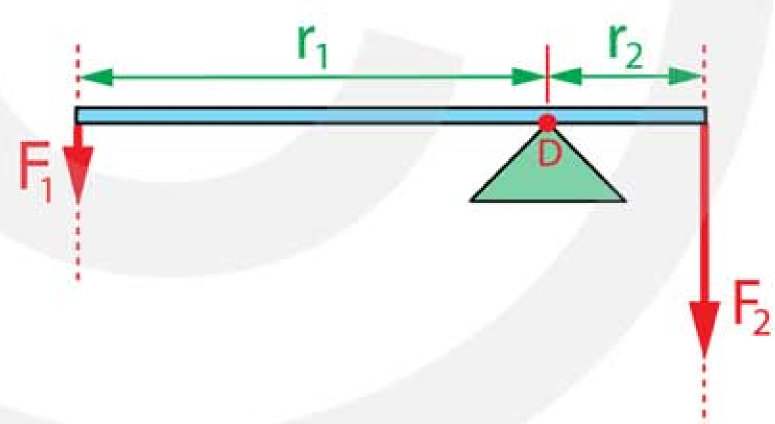
3.5 De momentenwet (hefboomwet)

Met de momentenwet (hefboomwet) kun je berekenen of een voorwerp dat kan draaien wel of niet in evenwicht is. Bij deze berekening moet je de krachten op het voorwerp weten. Maar ook al weet je alle krachten dan nog is het niet zeker of een voorwerp gaat draaien of in evenwicht is. Van iedere kracht moet je namelijk ook nog de **arm** weten.

De arm van een kracht

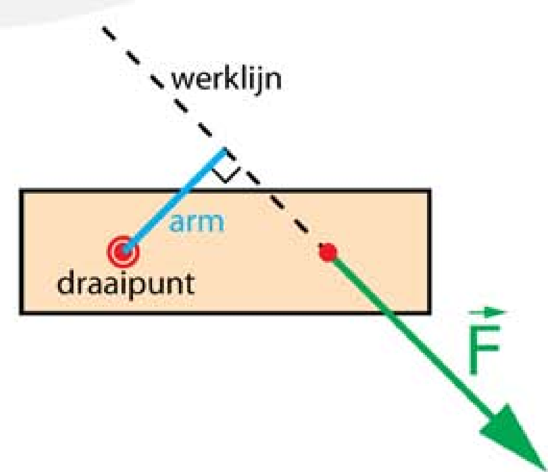
De arm van een kracht is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt.

Stel er zijn twee krachten F_1 en F_2, zie figuur 26. De rode stippellijnen zijn de werklijnen van F_1 en F_2. De arm is de afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt. De arm van F_1 is r_1 en de arm van F_2 is r_2.



Figuur 26
Het draaipunt is D.
De arm van F_1 is r_1.
De arm van F_2 is r_2.

Ook bij een kracht die schuin staat kun je de arm bepalen.
- teken de werklijn van de kracht
- teken een lijn loodrecht op de werklijn door het draaipunt
- meet de afstand van de werklijn tot het draaipunt



Figuur 27
De arm van een schuine kracht bepalen.

De momentenwet (hefboomwet)

Stel op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2. Werkt alleen F_1 dan zal het voorwerp tegen de wijzers van de klok draaien. Deze draairichting noemen we linksom. Werkt alleen F_2 dan zal het voorwerp met de wijzers van de klok mee draaien. Deze draairichting nomen we rechtsom. Zie figuur 26.

Draaiing tegen de wijzers van de klok in noemen we linksom.

Draaiing met de wijzers van de klok mee noemen we rechtsom.

Werkt er maar één kracht linksom en maar één kracht rechtsom, dan zal het voorwerp NIET gaan draaien als de kracht keer arm linksom gelijk is aan de kracht keer arm rechtsom.

Een voorwerp is in evenwicht en gaat niet draaien als:

$$F_{links} \cdot r_{links} = F_{rechts} \cdot r_{rechts}$$

Als $F_{links} \cdot r_{links} > F_{rechts} \cdot r_{rechts}$ **gaat het voorwerp linksom draaien.**

Als $F_{rechts} \cdot r_{rechts} > F_{links} \cdot r_{links}$ **gaat het voorwerp rechtsom draaien.**

De kracht vermenigvuldigd met de arm noemen we het **moment** van de kracht.

Het moment van een kracht is de kracht vermenigvuldigd met de arm.

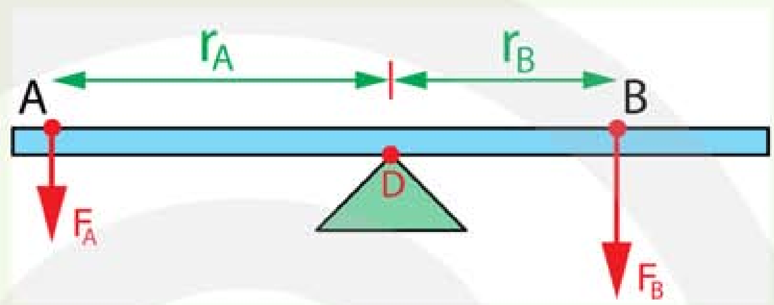
ΣM_{links} zijn alle momenten linksom bij elkaar opgeteld.
ΣM_{rechts} zijn alle momenten rechtsom bij elkaar opgeteld,.

Momentenwet: een voorwerp gaat niet draaien als

$$\Sigma M_{links} = \Sigma M_{rechts}$$

VOORBEELD wip

Als er niemand op de wip zit is de wip in evenwicht. Aan de linkerkant gaat Anna (A) zitten. Anna heeft een massa van 40 kg en zit 1,8 m van het midden. Rechts gaat Bea (B) zitten. Bea heeft een massa van 60 kg.



Figuur 28

Bereken hoe ver Bea van het draaipunt moet gaan zitten zodat de wip in evenwicht is (niet gaat draaien).

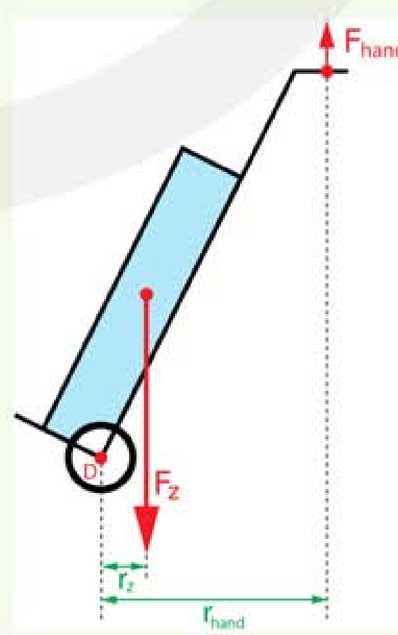
- $F_{Z,A} = m_A \cdot g \rightarrow F_{Z,A} = 40 \cdot 9{,}81 = 392{,}4\ \text{N}$
- $r_A = 1{,}8\ \text{m}$
- $F_{Z,B} = m_B \cdot g \rightarrow F_{Z,B} = 60 \cdot 9{,}81 = 588{,}6\ \text{N}$
- momentenwet: $\Sigma M_{links} = \Sigma M_{rechts}$
- $392{,}4 \cdot 1{,}8 = 588{,}6 \cdot r_{rechts} \rightarrow r_{rechts} = 1{,}2\ \text{m}$

VOORBEELD steekwagen

Een last van 61,2 kg wordt met een steekwagen in evenwicht gehouden. Figuur 29 is op schaal getekend.

Bereken de kracht op het handvat.

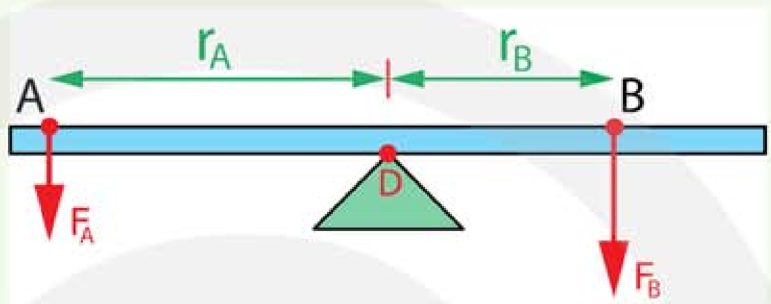
- $F_{last} = m \cdot g = 61{,}2 \cdot 9{,}81 = 600\ \text{N}$
- $M_{links} = F_{hand} \cdot r_{hand}$
- $M_{rechts} = F_{last} \cdot r_{last}$
- $F_{hand} \cdot r_{hand} = F_{last} \cdot r_{last} \rightarrow$
- $F_{hand} = F_{last} \cdot \dfrac{r_{last}}{r_{hand}} \rightarrow$
- opmeten: $\dfrac{r_{last}}{r_{hand}} = \dfrac{1}{5}$
- $F_{hand} = 600 \cdot \dfrac{1}{5} = 120\ \text{N}$



Figuur 29

VOORBEELD wip

Als er niemand op de wip zit is de wip in evenwicht. Aan de linkerkant gaat Anna (A) zitten. Anna heeft een massa van 40 kg en zit 1,8 m van het midden. Rechts gaat Bea (B) zitten. Bea heeft een massa van 60 kg.



Figuur 28

Bereken hoe ver Bea van het draaipunt moet gaan zitten zodat de wip in evenwicht is (niet gaat draaien).

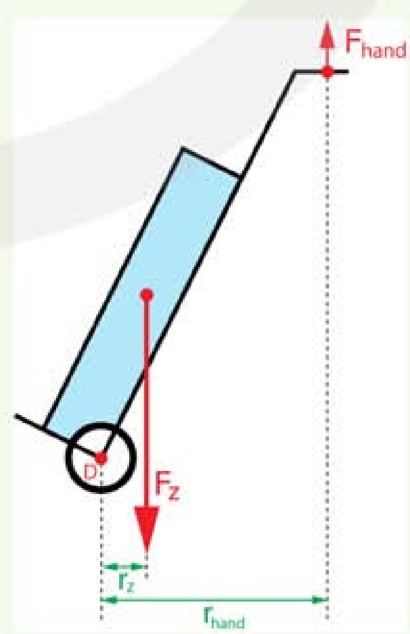
- $F_{Z,A} = m_A \cdot g \quad \rightarrow \quad F_{Z,A} = 40 \cdot 9{,}81 = 392{,}4\ N$
- $r_A = 1{,}8\ m$
- $F_{Z,B} = m_B \cdot g \quad \rightarrow \quad F_{Z,B} = 60 \cdot 9{,}81 = 588{,}6\ N$
- momentenwet: $\Sigma M_{links} = \Sigma M_{rechts}$
- $392{,}4 \cdot 1{,}8 = 588{,}6 \cdot r_{rechts} \quad \rightarrow \quad r_{rechts} = 1{,}2\ m$

VOORBEELD steekwagen

Een last van 61,2 kg wordt met een steekwagen in evenwicht gehouden. Figuur 29 is op schaal getekend.

Bereken de kracht op het handvat.

- $F_{last} = m \cdot g = 61{,}2 \cdot 9{,}81 = 600\ N$
- $M_{links} = F_{hand} \cdot r_{hand}$
- $M_{rechts} = F_{last} \cdot r_{last}$
- $F_{hand} \cdot r_{hand} = F_{last} \cdot r_{last} \quad \rightarrow$
- $F_{hand} = F_{last} \cdot \dfrac{r_{last}}{r_{hand}} \quad \rightarrow$
- opmeten: $\dfrac{r_{last}}{r_{hand}} = \dfrac{1}{5}$
- $F_{hand} = 600 \cdot \dfrac{1}{5} = 120\ N$



Figuur 29